

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh vhodné mikrogeometrie VBD pro frézování
austenitických ocelí**

**Proposal of the Appropriate Microgeometry of Inserts
for Milling Austenitic Steel**

Student:

Denis Le

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Denis Le**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh vhodné mikrogeometrie VBD pro frézování austenitických ocelí**
Proposal of the Appropriate Microgeometry of Inserts for Milling Austenitic Steel
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění austenitických ocelí.
3. Návrh nové mikrogeometrie vybrané VBD.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko - ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

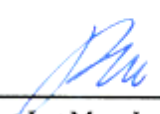
- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.
- [3] WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry



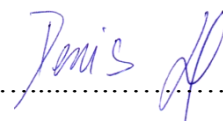

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti Dormer Pramet s.r.o. v Šumperku.

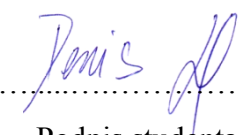
V Ostravě dne 16. 5. 2016


.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдоміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдоміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



.....

Podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Lidická 43

Šumperk

787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LE, D. *Návrh vhodné mikrogeometrie VBD pro frézování austenitických ocelí*. Ostrava: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016, 44 s. Bakalářská práce, vedoucí práce: Vrba, V. a Binder, M.

Bakalářská práce se zabývá problematikou návrhu vhodné mikrogeometrie u vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu při zohlednění její současné trvanlivosti při rovinném frézování austenitických korozivzdorných ocelí. V úvodní části této práce je stručně popsána historie a zaměření firmy Dormer Pramet a obecná problematika obrábění austenitických ocelí. Hlavní část práce se zabývá návrhem vhodné mikrogeometrie u vyměnitelné břitové destičky typu OEHT 06 a porovnáním standardní a nově navržené verze při zkouškách obrábění na trvanlivost. V závěru Bakalářské práce jsou uvedeny poznatky získané z experimentů a jejich technicko-ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova: mikrogeometrie, frézování, austenitická ocel, Dormer Pramet

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

LE, D. *Proposal of the Appropriate Microgeometry of Inserts for Milling Austenitic Steel*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2016, 44 p. Bachelor thesis, heads: Vrba, V. and Binder, M.

The Bachelor thesis deal with questions of proposal of the appropriate by indexable inserts from cemented carbide taking account of current parameters of durability by face milling on austenitic stainless steel. In the beginning part is shortly described history and orientation of company Dormer Pramet and short partition of austenitic steels. In the main part is focused on proposal of the appropriate microgeometry of indexable inserts OEHT 06 and comparison of standard and newly designed version by durability cutting tests. In the end of Bachelor thesis are given the knowledge from experiments and their technical-economic evaluation.

Keywords: Microgeometry, Milling, Austenitic Steel, Dormer Pramet

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Obecná charakteristika daného problému.....	9
2.1	Firma Dormer Pramet, Šumperk.....	9
3	Problematika frézování austenitických ocelí.....	11
3.1	Úvod do obrábění.....	11
3.2	Obecná charakteristika austenitických ocelí.....	12
3.3	Složení austenitických ocelí.....	13
3.4	Obrobitelnost austenitických ocelí.....	15
3.4.1.	Obrobitelnost z hlediska fyzikálních jevů.....	16
3.4.2.	Obrobitelnost z hlediska chemického složení.....	17
3.5	Možnosti pro zefektivnění obrábění austenitických ocelí.....	17
3.5.1.	Otupení břitu nástroje.....	17
3.5.2.	Řezné síly a momenty.....	18
3.5.3.	Teplota řezání.....	18
3.5.4.	Kvalita obrobeného povrchu.....	19
3.5.5.	Tvorba třísky.....	20
3.5.6.	Další kritéria.....	20
3.6	Referenční ocel X2CrNiMo17-12-2.....	21
4	Návrh nové mikrogeometrie vybrané VBD.....	22
4.1	Úvod do problematiky mikrogeometrie.....	22
4.1.1.	Výroba zaoblení řezné hrany VBD.....	22
4.2	Metody úpravy mikrogeometrie využívané firmou Dormer Pramet.....	23
4.2.1.	Suché tryskání.....	23
4.2.2	Mokrý tryskání.....	24
4.2.3	Kartáčování.....	24
4.2.4	Leštění.....	25
4.3	Vybraný typ VBD.....	26
4.4	Zkušební vzorky VBD.....	27
5	Diskuze experimentů.....	29
5.2	Volba řezných podmínek.....	29
5.3	Zkoušky obrábění na trvanlivost.....	31
6	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	39
7	Závěr.....	40
	Seznam použité literatury.....	42
	Seznam obrázků.....	43
	Seznam tabulek.....	43
	Seznam grafů.....	43

Seznam použitých značek

VBD	vyměnitelná břitová destička [-]
SK	slinutý karbid [-]
HNO ₃	Kyselina dusičná [-]
H ₂ SO ₄	Kyselina sírová [-]
γ	oblast gama v tavenině [°]
f	posuv na otáčku [mm]
a _p	axiální hloubka řezu [mm]
v _c	řezná rychlost [mm]
κ_R	úhel nastavení hlavního břitu [°]
γ_o	řezný úhel čela [°]
r _ε	poloměr zaoblení špičky [°]
r _N	poloměr zaoblení ostří [°]
α	úhel hřbetu [°]
A ₈₀	tažnost [%]
R _m	pevnost v tahu [MPa]
R _p	mez kluzu [MPa]
ABS	Automatic Blasting Station [-]
PVD	Physical Vapour Deposition – metoda povlakování slinutých karbidů fyzikálním napařováním [-]
ISO	International Organization for Standardization [-]
n	počet otáček [1·mm ⁻¹]
f _z	posuv na zub [mm]
f _{min}	minutový posuv [mm·min ⁻¹]
a _ε	radiální hloubka řezu [mm]
HB	tvrdost dle Brinella [-]
VB _B	opotřebení hlavního břitu [mm]
VB _C	opotřebení špičky hlavního břitu [mm]
T	trvanlivost [min]
K	řezivost [%]
ČSN	česká státní norma [-]

1 Úvod

Frézování korozivzdorných ocelí se považuje za poměrně náročný obráběcí úkon. Vedle dosažení požadované jakosti obráběného povrchu se klade za cíl dosahovat rovněž vysoké produktivity a efektivity za minimálních nákladů. K tomu napomáhá dokonalá znalost problematiky a produkce inovativních nástrojů pro výrobu, které mají delší životnost i pod vysokou zátěží bez nutnosti jejich opravy, výměny či zhoršení jakosti obráběného materiálu. Současnému trendu rovinného frézování korozivzdorných ocelí nejlépe odpovídají výměnné břitové destičky vyrobené ze slinutých karbidů.

K vývoji nových vyměnitelných břitových destiček se přistupuje produkcí nových materiálů, vylepšenou technologií výroby či změnou makro a mikrogeometrie destiček. K udržení konkurenceschopnosti v dynamicky se vyvíjejícím strojním průmyslu je pro všechny instituce, pohybující se v odvětví výroby vlastních vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu, rozhodující podrobné zkoumání všech dostupných inovačních možností, které by je dovedly ke zvýšení produktivity, efektivity a ekonomičnosti nabízeného sortimentu.

Téma bakalářské práce mi bylo k vypracování nabídnuto společností Dormer Pramet, zabývající se právě především výrobou VBD ze slinutého karbidu a nástroji k jejich používání. Tato společnost s mnohaletou historií, uvědomujíc si výše zmíněná fakta, uvedla nedávno na trh novou VBD, což bylo hlavním impulsem pro uvolnění zpracovávaného tématu. Hlavním cílem této práce je určit novou vhodnou mikrogeometrii definované vyměnitelné destičky ze slinutého karbidu, určené pro efektivní a ekonomické frézování korozivzdorných ocelí, za cílem zvýšení jejich řezných vlastností a její ekonomičnosti.

2 Obecná charakteristika daného problému

Strojírenství je neustále se vyvíjející a dynamická oblast průmyslu plná vzájemně si konkurujících tuzemských i zahraničních firem, které se snaží ovládnout trh svými produkty. Toho lze mimo jiné dosáhnout výzkumem a inovacemi již nabízeného sortimentu, díky čemuž mi bylo firmou Dormer Pramet Šumperk nabídnuto téma bakalářské práce, která se měla zabývat návrhem vhodné mikrogeometrie dané vyměnitelné břitové destičky pro frézování austenitických ocelí.

Firma v listopadu minulého roku v rámci nového sortimentu čelních fréz a destiček pro ekonomické frézování korozivzdorných ocelí představila osmihranné destičky s označením OEHT. Tato destička se vyrábí ve třech různých provedeních: MF, MM a M. Pro experimenty úpravy mikrogeometrie byla vybrána destička v provedení MM pro její univerzálnost použití v procesu obrábění běžných korozivzdorných ocelí při středních záběrových podmínkách.

Experiment se sestával z úpravy mikrogeometrie břitu části vzorků, obráběcích zkoušek na trvanlivost jednotlivých typů VBD, porovnání dosažených výsledků a ze závěrečného vyhodnocení zkoušek.

2.1 Firma Dormer Pramet, Šumperk

Tradice a zkušenosti firmy Dormer Pramet v odvětví výroby slinutých karbidů sahá až do 30. let minulého století. V roce 1951 započala v této firmě výroba sortimentu ze slinutého karbidu a řezných nástrojů osazených slinutým karbidem. S více jak 60 letými zkušenostmi a tradicí ve spojení s dobrou kvalitou materiálů, kontinuálním výzkumem a vývojem získala firma Pramet Tools jednu z vedoucích pozic na nejen tuzemském trhu, ale navíc se postupem času začala více prosazovat i na náročné mezinárodní úrovni. V roce 1999 došlo ke spolupráci s finančně silným partnerem, švédskou skupinou Seco - předním světovým producentem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Další inovace výrobního sortimentu díky vlastnímu vývoji a výzkumu firma zaznamenala firma v roce 2000, kdy prakticky kompletně racionalizovala nabízené materiály, obráběcí nástroje i tvářecí a lisovací nářadí ze slinutých karbidů na úroveň moderních technologií, čímž rapidně vzrostla výkonnost jejich produktů ve srovnání s původním vyráběným sortimentem. [1]

V roce 2014 došlo k utvoření nového uskupení Dormer Pramet spojením instituce Dormer Tools, zabývající se výrobou monolitních nástrojů, a společnosti Pramet Tools, která má bohatou praxi ve výrobě nástrojů s vyměnitelnými břitovými destička ze slinutého karbidu. Tímto jedinečným spojením dvou firem s více než 150 letou historií došlo ke značnému zvýhodnění v doplnění sortimentu a trhů. Stávající i budoucí odběratelé mají nyní přístup k ještě širší škále vysoce kvalitních nástrojů doplněných snadno dostupnými službami. [2]

Své produkty Dormer Pramet dodává do všech evropských zemí, Jižní Ameriky a jihovýchodní Asie - především Indie a Číny. Další služby firma poskytuje prostřednictvím více než 30 poboček rozmístěných po celém světě, které jsou dále podporovány výrobními závody v Evropě a Jižní Americe spolu s globální distribuční sítí. [1], [2]

Společnost dodává na trh především nástroje pro třískové obrábění kovů a nabízí širokou škálu nástrojů pro všechny druhy obrábění, které každoročně rozšiřuje nové produkty. Nabízené nástroje si udržují výkonnost a spolehlivost při všeobecném i těžkém frézování především díky kvalitním a pravidelně inovovaným substrátům a špičkovým povlakům destiček. [1]

V současné době firma zaměstnává více než 700 zaměstnanců, v jejichž řadách najdou uplatnění kvalifikovaní odborníci z oboru i absolventi bez praxe. Velká pozornost je věnována nejen spokojenosti a profesnímu růstu zaměstnanců, ale také například ochraně zdraví při práci, bezpečnosti práce či ochraně životního prostředí, což potvrzují získané mezinárodní certifikáty a ocenění. [1], [3]

3 Problematika frézování austenitických ocelí

Obrábění (v našem případě metodou frézování) austenitických ocelí je obsáhlé a složité téma, k jehož nastínění bude třeba rozebrat obecnou charakteristiku austenitických ocelí, jejich složení či problematiku obrobitelnosti. V závěru této kapitoly si přiblížíme ocel X2CrNiMo17-12-2, na které byly prováděny zkoušky této studie. Nejprve si však přiblížíme pár základních pojmů z oblasti obrábění.

3.1 Úvod do obrábění

Obrobitelnost je výsledek fyzikálních a chemických vlastností obráběného materiálu (např. pevnost, tvrdost, chemické složení, houževnatost, atd.) určující obtížnost jeho obrábění. [4]

Řezivost je výsledkem fyzikálních a chemických vlastností břitu řezného nástroje (např. houževnatost, pevnost a tvrdost při vyšších teplotách, struktura, atd.) určující jeho výkonnost při procesu obrábění. [4]

Obrobitelnost a řezivost jsou úzce související technologické vlastnosti, jejichž zkoušky jsou principiálně podobné. Při obrobitelnosti se zkoumají materiály obráběné, při řezivosti potom materiály řezné. [4]

Obrobitelnost je dána: [4]

- fyzikálními vlivy (mechanickými vlastnostmi kovů) - houževnatost, tvrdost, pevnost, tažnost, tepelné vlastnosti
- mikrostrukturou - druhem, velikostí, tvarem a orientací krystalů
- chemickým složením
- tepelným zpracováním a způsobem výroby

Kritéria hrající roli v řezivosti a obrobitelnosti: [4]

- 1) trvanlivost břitu
- 2) řezné síly a momenty
- 3) teplota řezání
- 4) kvalita (většinou drsnost) obrobeného povrchu
- 5) tvar vznikající třísky
- 6) další specifická kritéria (např. deformace stroje-nástroje-obrobku, chvění)

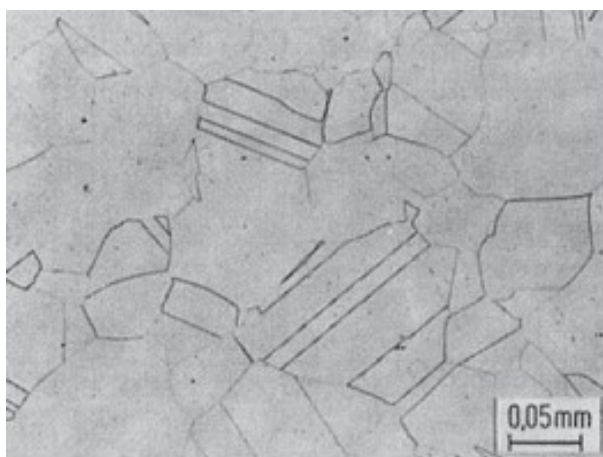
3.2 Obecná charakteristika austenitických ocelí

Převažující složkou v austenitických ocelích je tzv. γ -austenit. Austenitická struktura vzniká při dostatečné přítomnosti tzv. austenitotvorných prvků, jimiž jsou nikl, mangan a dusík. Základním typem těchto ocelí je chrom-niklová austenitická ocel s 18% Cr a 9% Ni. Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností a korozní odolnosti se kov obohacuje o další legující prvky. Pro zachování austenitické struktury je však nezbytné vyvážené působení austenitotvorných a feritotvorných prvků.

Vlivy elementárních a doprovodných prvků na vlastnosti lze zjednodušeně charakterizovat následovně: [4]

- mechanické vlastnosti (N)
- obrobitelnost (S, Se, P, Pb, Cu)
- celková korozní odolnost (Cr, Mo, Cu, Si, Ni)
- odolnost proti bodové a štěrbinové korozi (Mo, Si, N)

Austenitické korozivzdorné oceli jsou nemagnetické a nepodléhají fázovým přeměnám. Pevnost je možno zvyšovat výhradně legováním (např. složkou N), případně u některých typů charakteristických menší stabilitou austenitu tvářením za studena (tažení, petchování). Jsou-li tyto oceli po tepelném zpracování či svařování pomalu ochlazovány, dochází v pásmu kritických teplot (přibližné rozmezí 600-800°C) k vylučování karbidů po hranici zrn. V takovémto případě nastává vznik mezikrystalové koroze v kyselém prostředí v důsledku poklesu obsahu chromu v zasažené oblasti. Takovýmto jevům je možno však zamezit pomocí změny chemického složení (přísady Ti – resp. Nb, velmi nízké obsahy C). Počátečním stavem pro užití austenitických ocelí je rozpouštěcí žíhání (tedy žíhání při teplotách nad 1000°C) s následným rychlým ochlazením na teplotu normální. Austenitické korozivzdorné oceli se vyznačují dobrou svařitelností a značnou houževnatostí i při nízkých teplotách a jsou zastoupeny v mnoha modifikacích a druzích. [4]



*Obr. 3.1 Austenitická struktura
(ocel X5CrNi 18-10) [8]*

3.3 Složení austenitických ocelí

Dle složení lze austenitické korozivzdorné oceli rozčlenit podle složení na chromniklové, chrommanganové a chrommanganniklové. Oceli určené k výrobě odlitků mají ve většině případů základní složení obdobně jako tvářené oceli, avšak s poněkud rozdílným (vyšším) podílem uhlíku. [5]

Austenitické oceli se vyznačují vysokou tvárností, houževnatostí velkou tažností, zúžením a vrubovou houževnatostí a to i za nízkých teplot. Jejich využití je proto výhodné pro uskladňování a převoz tekutých plynů. Relativně malá mez kluzu se zároveň vysokou pevností způsobují značné zpevnování oceli při tváření za studena. Pro užití austenitických ocelí za nízkých teplot je z praktického hlediska nezbytné zajistit dostatečnou strukturní stabilitu materiálu. Využití nacházejí korozivzdorné austenitické oceli především v průmyslu chemickém, farmaceutickém, potravinářském i energetickém, konkrétněji je lze využít pro výrobu kuchyňských potřeb nebo v dopravní sféře, nově je jejich potenciál hojně využíván také ve stavebnictví a architektuře. Široké zastoupení mají také v sortimentu hutního materiálu (např. trubky, dráty, plechy, tyčoviny, apod.). [5]

Základní legující prvky a jejich vliv na vlastnosti austenitických ocelí: [6], [7]

- **Chrom** – zabezpečuje pasivovatelnost ocelí (předpokladem k pasivaci je přítomnost více než 11,5% chromu v tuhém roztoku) a jejich odolnost vůči korozi. Korozivzdornost oceli v oxidačních prostředích se zvyšuje společně s obsahem chromu.
- **Nikl** – za normálních teplot stabilizuje austenit a dále zvyšuje odolnost proti korozi v redukčních kyselinách. Po chromu je nejvýznamnějším prvkem v korozivzdorných ocelích, avšak pro svou vysokou cenu bývá často kompenzován manganem.
- **Mangan** – jedná se austenitotvorný prvek. Při koncentraci vyšší než 3% také snižuje sklony svarů k praskání, nýbrž zhoršuje obrobitelnost.
- **Dusík** – obdobně silný austenitotvorný jako uhlík. Zvyšuje hodnoty pevnosti a společně s molybdenem zvyšuje bodovou a šterbinovou odolnost proti korozi.
- **Křemík** – podněcuje k praskání svarů. V koncentraci 3-4% eliminuje náchylnosti k mezikrystalické oxidaci a zlepšuje korozivzdornost ve vroucí HNO_3 .
- **Molybden** – zlepšuje odolnosti vůči korozi, a to ve všech prostředích (včetně vroucích roztoků HNO_3), také zvyšuje žárupevnost a podporuje vylučování intermediálních fází. Jedná se o feritotvorný prvek, tudíž je nezbytné po jeho přísadě obohatit kov také o Ni nebo jiný austenitotvorný prvek, aby nešlo k porušení austenitické struktury.
- **Měď** – lehce austenitotvorný prvek zlepšující obrobitelnost a korozní odolnost v prostředích s přítomností H_2SO_4 . Využívá se jako legující prvek vytvrditelných ocelí.
- **Titan a niob** – jedná se o karbidotvorné prvky. Vzhledem k vysoké afinitě vůči uhlíku tvoří v ocelích karbidy, snižujíc podíl uhlíku v matici – stabilizace ocelí. Používají se k přidávání do vytvrditelných ocelí.

Struktura korozivzdorných ocelí se odvíjí od podílů obsažených austenitotvorných (prvky rozšiřující oblast γ) a feritotvorných (prvky redukující oblast γ) prvků oceli. [6], [7]

3.4 Obrobitelnost austenitických ocelí

Z oblasti obrábění korozivzdorných ocelí se mají právě austenitické oceli za těžko obrobitelné. Charakteristickými vlastnostmi negativně ovlivňující jejich obrobitelnost jsou především nízká tepelná vodivost, značná houževnatost a velké sklony ke zpevňování za studena. Prvořadým prvkem ovlivňující kladně obrobitelnost korozivzdorných ocelí je síra. [4]

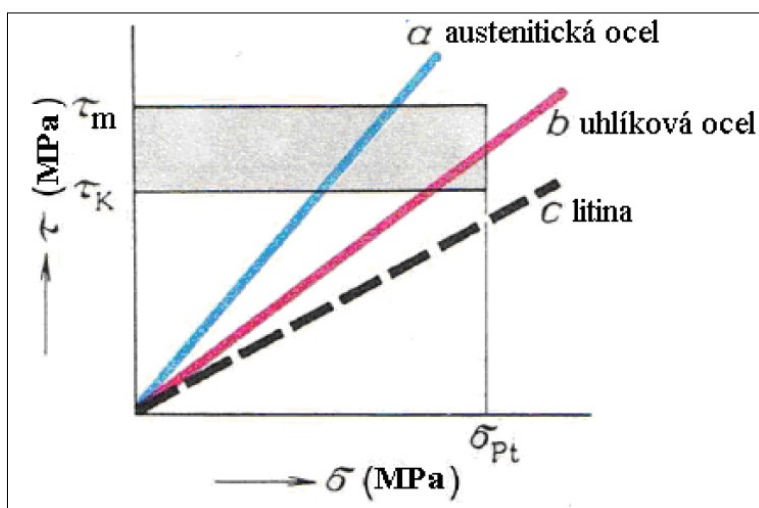
Pro zvláštní použití existuje kategorie speciální automatové oceli. Speciální automatové oceli obsahují obvykle 0,15-0,35% síry. V kombinaci s manganem tvoří síra sulfid manganu, který kladně ovlivňuje obrobitelnost hladkého povrchu lámavostí odebírané třísky na drobné segmenty a také zmírňuje opotřebení nástrojů. Lehkou nevýhodou automatových ocelí je jistá újma na odolnosti proti oxidaci. [4]

Druhou skupinou jsou oceli se zlepšenou obrobitelností obsahující síru v množství 0,015-0,030%. Pomocí nastavení definované velikosti, rozložení a počtu sulfidů v příčném průřezu materiálu se ve srovnání s klasickými oceli, obsahující znatelně méně síry, dosahuje vyšších řezných rychlostí a více než dvojnásobně delší trvanlivosti nástroje, avšak v porovnání s klasickými automatovými oceli jsou tyto hodnoty stále nižší. [4]

3.4.1. Obrobitelnost z hlediska fyzikálních jevů

Celý soubor austenitických ocelí je obtížně obrobitelný, a to především vlivem jejich vysoké pevnosti, nízké meze kluzu, vysoké tvárnosti a značné houževnatosti [4]

Vysoká tvárnost austenitických ocelí je zapříčiněna generováním značného tepla a vyššími řeznými teplotami, než například při obrábění uhlíkových ocelí, při stejných řezných podmínkách. V případě znázorněném na obr. 3.2 dosáhne tečné napětí meze kluzu τ_k a meze pevnosti ve smyku τ_m ještě před dosažením normálového napětí meze pevnosti v tahu σ_{pt} . Odřezávaná vrstva materiálu se značně plasticky tváří a následně odděluje. [4]



Obr. 3.2 Poměr pevnosti v tahu a ve smyku při obrábění různých materiálů [4]

Při obrábění například uhlíkových ocelí je generované teplo z největší části odváděno třískou, avšak austenitické oceli vlivem jejich nízké tepelné vodivosti a malé schopnosti absorbovat teplo způsobují vyšší tepelné zatěžování břitu nástroje. [4]

Vlivem již výše popsaných vlastností má tento typ ocelí sklony ke zpevňování – a to jednak odebíraného segmentu materiálu, ale i povrchu obrobené plochy a popř. také plochy řezu. [4]

3.4.2. Obrobitelnost z hlediska chemického složení

Zjednodušeně platí zhoršování obrobitelnosti s rostoucím procentem legur obráběného materiálu. Ve struktuře austenitických ocelí se nachází až 35% jiných prvků než železa a vzhledem odolnosti austenitických ocelí vůči korozi se jedná o nejdominantnější druh ze všech ocelí. Často se přitom jedná o oceli s dodatečným přidáním síry, v některých případech s přísadou selenu. Zdokonalit vlastnosti oceli, týkající se obrobitelnosti, lze jednoduše kupříkladu přidáním síry – u některých ocelí určených pro obrábění na automatech se tato praxe běžně aplikuje. U takovýchto ocelí se počítá s dobrou obrobitelností za cenu minimální odolnosti proti korozi. Omezení týkající se zlepšení vlastností pro obrábění vychází z materiálových norem. Odolnost korozivzdorných ocelí vůči oxidaci je v první řadě závislá právě na jejich chemickém složení. [4]

3.5 Možnosti pro zefektivnění obrábění austenitických ocelí

3.5.1. Otupení břitu nástroje

Nejčastějšími příčinami způsobující destrukci břitu při obrábění austenitických ocelí jsou plastická deformace a nárůstek. Vzniklý nárůstek se nezřídka také vyštípne z čela břitu společně s částí substrátu slinutého karbidu. Nejdominantnějším opotřebením je poté vylomení části břitu v důsledku tepelných šoků (změn teplot při frézování). Tepelný šok je forma únavového opotřebení, které je vyvolané vznikem kolmých (hřebenovitých) trhlin na ostří (obr. 3.3). [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu otupování břitu: [4]

- pečlivé zvolení posuvu f , hloubky řezu a_p a řezné rychlosti v_c
- užití kruhové VBD



Obr. 3.3 Kolmé trhliny vzniklé vlivem tepelných šoků [4]

3.5.2. Řezné síly a momenty

Ve srovnání s uhlíkovou ocelí je řezný proces austenitické oceli méně stabilní v důsledku vyššího rozptylu složek řezných sil, což se odráží v nepravidelném lemovitém tvaru třísky a (ve srovnání s nelegovanou ocelí) výrazněji zvlněném povrchu obrobku. Z ohledu stability řezného procesu je austenitická ocel o přibližně 50% hůře obrobitelná než uhlíková ocel, přičemž v žíhaném stavu je míra měrné řezné rychlosti srovnatelná s uhlíkovou ocelí. Velikost měrné řezné síly potom záleží na úrovni zpracování ocele. [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu řezných momentů a sil: [4]

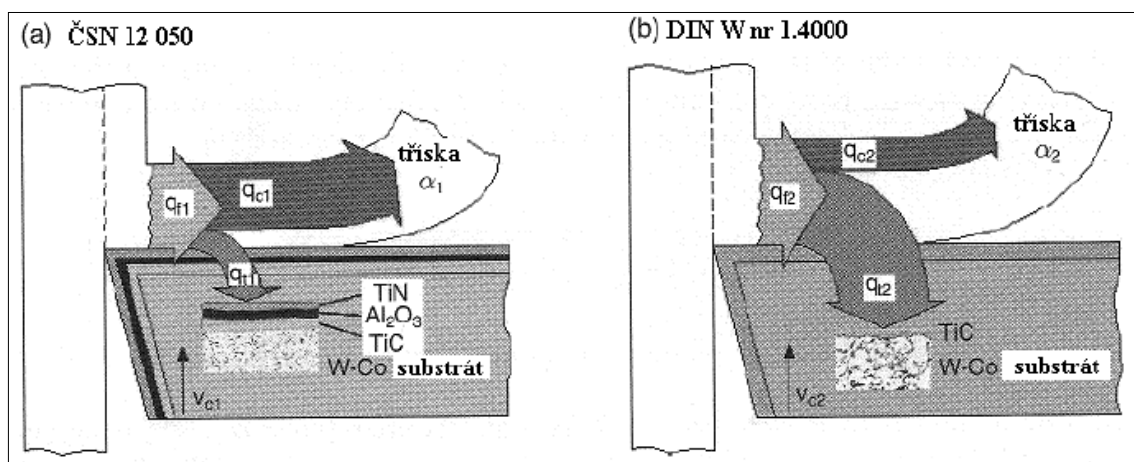
- volba většího úhlu nastavení hlavního břitu κ_R
- zvětšení úhlu čela γ_o
- zmenšení poloměru zaoblení špičky r_e
- zmenšení poloměru zaoblení ostří r_N

3.5.3. Teplota řezání

Při opracovávání uhlíkové oceli je největší část generovaného tepla odváděna třískou, ovšem v případě austenitických ocelí s jejich značně nižší tepelnou vodivostí a malou schopností pohlcovat teplo zůstává většina tohoto vznikajícího tepla v ovlivňované oblasti, což má za následek vyšší opotřebovávání břitu nástroje. [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu teploty řezání: [4]

- aplikace procesního média (chlazení)



Obr. 3.4 Tepelná distribuce pro: a) uhlíkovou ocel b) austenitickou ocel [4]

3.5.4. Kvalita obrobeného povrchu

Proces řezání austenitických ocelí je ve srovnání s uhlíkovou ocelí poměrně nepravidelnou operací, jejíž průběh může ovlivnit jakost obrobeného povrchu. Kontinuálnějšího průběhu lze dosáhnout pozitivním nastavením břitu, a jelikož má austenitická ocel malou výchozí hodnotu smykového napětí, tak má materiál tříšek tendenci se „nalepovat“ na řezný nástroj a tvořit nárůstky. [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu kvality obrobeného povrchu: [4]

- zvýšení řezné rychlosti v_c
- zvětšení úhlu čela γ_o
- zvětšení úhlu hřbetu α
- zmenšení hloubky řezu ALE $a_p > 0,3 \text{ mm}$
- zmenšení posuvu f
- volba malého radiusu r_N
- aplikace procesního média (chlazení)



Obr. 3.5 Zdrsňělý povrch a špatná jakost povrchu obrobku [4]

3.5.5. Tvorba třísky

Austenitická ocel obsahuje minimum uhlíku 0,08% v důsledku čehož má tendenci tvořit plynulou a málo přechovanou třísku. Ke zmírnění tohoto jevu je možno použít procesního média ke snížení teploty řezání, díky čemuž se zvýší velikost smykového napětí nezbytného pro deformaci a ocel se tedy stane méně tvárnou, což pozitivně ovlivní segmentaci a tvar odebírané třísky. [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu tvorby třísky: [4]

- zvětšení úhlu čela γ_o
- aplikace procesního média (chlazení)
- užití nástroje s malou, popř. žádnou fazetkou
- užití nástroje s vyšší zadní stranou

3.5.6. Další kritéria

Pro nástroje a obrobky je bezpodmínečné jejich co nejstabilnější možné upnutí. Pro přednosti stabilních konstrukcí jsou nasazovány obráběcí stroje, u kterých se dbá především na jejich vysokou tuhost a spolehlivost chodu vřetene. Neméně pozornosti by se mělo věnovat také poloměru špičky nástroje, poněvadž jeho přílišná velikost má za následek zvyšování nebezpečí vibrací. [4]

Doporučení pro obrábění z pohledu dalších kladených kritérií: [4]

- volba velkého úhlu nastavení hlavního ostří
- volba velkého úhlu čela γ_o
- volba malého poloměru špičky r_N
- volba malého poloměru špičky r_ϵ
- volba malého vyložení nástroje

3.6 Referenční ocel X2CrNiMo17-12-2

Referenční ocel X2CrNiMo17-12-2 (ČSN 17 149) je chromniklovou austenitickou nestabilizovanou nízkouhlíkovou ocelí, která obsahuje méně než 0,03% uhlíku a je legována 10-12% niklu, 16,5-18,5% chromu a 2-2,5% molybdenu. Ocel spadá do skupiny M dle ISO 513 a vykazuje sklony ke zpevňování za studena při tváření či nevhodně zvolenými řeznými podmínkami při třískovém obrábění. Tento úkaz však nemá žádný vliv na odolnost vůči korozi. Se zvyšující se teplotou značně klesají hodnoty meze kluzu a meze pevnosti v tahu. [9]

Korozní odolnost

Ocel X2CrNiMo17-12-2 je dobře odolná proti oxidacím v průmyslovém odvětví – zejména proti korozi důlkové za přítomnosti chloridů. Méně vhodnou je poté pro užití v oblastech s přítomností kyseliny dusičné nebo jejích výparů. Tato ocel nejeví sklony proti mezikrystalické korozi v oblastech tepelného ovlivnění. [9]

Použití

Svou charakteristikou je materiál vhodný pro užití svařovaných konstrukcí průmyslového ražení, dále v přímořských podmínkách nebo po případné chemické úpravě i v prostředí plováren. Lze použít i ve styku s potravinami, avšak použití ve styku s pitnou vodou bývá omezeno hraničním obsahem niklu. [9]

Mechanické vlastnosti: [9]

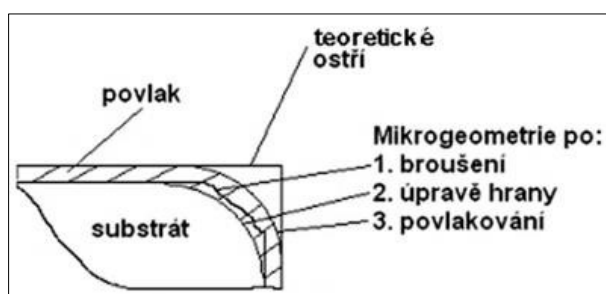
- nekalitelnost
- nemagnetičnost
- tažnost A_{80} minimálně 40%
- žíhací teplota 1000-1100°C
- pevnost v tahu R_m 520-680 N·mm²
- mez kluzu R_p 0,2 minimálně 220 N·mm²

4 Návrh nové mikrogeometrie vybrané VBD

4.1 Úvod do problematiky mikrogeometrie

Řezivost obráběcích nástrojů je ovlivněna mnohými faktory, přičemž největší podíl na výsledných funkčních vlastnostech nástroje mají řezný materiál, řezná geometrie a povlak. Na tyto prvky je nutné kvůli jejich neoddělitelnosti nahlížet ve vzájemném kontextu. Řezná geometrie se dále dělí na makrogeometrii (úhly, profil nástroje, vyostření) a mikrogeometrii. Mikrogeometrie je ovlivňována použitým řezným materiálem i naneseným otěruvzdorným povlakem, který ovlivňuje drsnost povrchu a díky své tloušťce i poloměr zaoblení břitu. V průmyslové aplikaci se k mikrogeometrii prozatím přistupuje sledováním stavu řezné hrany, nejčastěji právě velikosti poloměru zaoblení ostří. [14], [15]

Pro vytvoření břitu nástroje je nutno uskutečnit několik na sebe navazujících kroků. Na obr. 4.1 jsou uvedeny základní tvary ostří vzniklé po broušení, úpravě řezné hrany a povlakování. Při aplikování těchto operací je však třeba brát na zřetel možnou změnu poloměru zaoblení ostří vlivem nanesení povlakové vrstvy. Pro úpravy hrany a povrchu se využívá především metod tryskání, omílání, kartáčování, lapování, magnetického leštění, proudového broušení, laseru nebo leštění. [14]



Obr. 4.1 Schéma břitu nástroje [14]

4.1.1. Výroba zaoblení řezné hrany VBD

Řízené zaoblení řezné hrany nazýváme rektifikace - ta má zásadní vliv na trvanlivost a životnost destičky. K rektifikaci by se tedy mělo přistupovat s náležitou zodpovědností a její provádění by mělo probíhat s nejvyšší možnou pečlivostí.

Hodnota rektifikace uváděná ve výrobních postupech nástrojů je taková, při které mají VBD nejvyšší životnost a nejlepší řezné vlastnosti. [10]

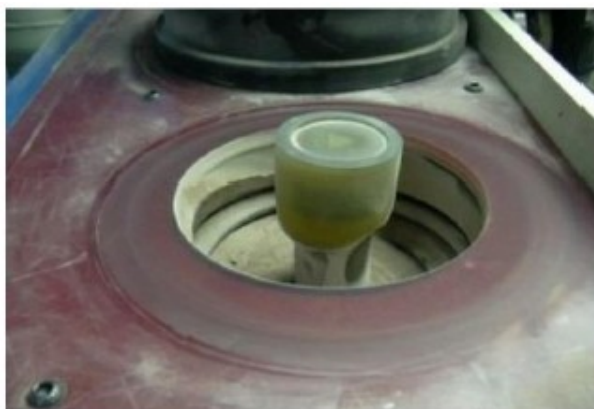
Zaoblení je v řádech mikrometrů. U nezaobleného břitů by při najetí do obrobku došlo ke strmému snížení trvanlivosti a ke značnému poškození či dokonce utržení řezné hrany nástroje. Hodnota zaoblení závisí na technologickém určení VBD. [10]

4.2 Metody úpravy mikrogeometrie využívané firmou Dormer Pramet

4.2.1. Suché tryskání

Suché tryskání probíhá na stroji ABS (Automatic Blasting Station). Vyjma provádění rektifikace se tato tryskací stanice používá také k tryskání destiček pro odstranění kobaltu. To přináší možnou výhodu podniknutí dvou operací na jednom stroji. [10]

Tato technologie zaoblení probíhá s absencí vody, tedy jen za přítomnosti abraziva a tlaku vzduchu. Suché tryskání je nejvíce agresivní metodou rektifikace a využívá se především u malosériové výroby či u zhotovování pouze několika kusů VBD. Nerovnosti a zhoršená drsnost povrchu po úpravě tryskáním jsou hlavními důvody způsobující pomalé upouštění od nasazování této technologie. Destičky jsou ve stroji umístěny v plastových držácích, na které působí tlakem vzduch s obsahem abraziva, čímž dochází k zaoblení VBD. Tento způsob rektifikace je nejpomalejší a dosažená drsnost řezné hrany je nejhorší, přičemž nejvyšší dosažitelné zaoblení je 70 μm . [10], [11]



Obr. 4.2 Přípravek pro uložení VBD při suchém tryskání [11]

4.2.2 Mokré tryskání

Ve srovnání se suchým tryskáním se u této technologie využívá tryskání s kapalinou. Z toho vyplývá, že na VBD působí pod vysokým tlakem vzduchu právě voda s abrazivem. Zaoblená řezná hrana je díky kroku jemnější než v případě suchého tryskání. Díky dobré jakosti a malé nerovnosti povrchu se jedná se o nejpoužívanější technologii rektifikace. Princip výroby zaoblení touto metodou totožný s tryskáním za sucha, jediným rozdílem je použití kapaliny v průběhu operace. Rektifikace mokrým tryskáním je ve srovnání se suchým tryskáním rychlejší a drsnost řezné hrany je menší. Hodnota možnosti dosažitelného zaoblení je 55 μm . [10], [11]



Obr. 4.3 Metoda mokrého tryskání [11]

4.2.3 Kartáčování

Kartáčování probíhá na stroji Sinjet IBX 12 a proces je chlazen vodou. Jedná se o nejproduktivnější metodu rektifikace, při které je možno měnit hrubost kartáčů. Volba jemnějších či hrubších kartáčů závisí především na velikosti požadovaného zaoblení. Povrch VBD je po operaci srovnatelný s metodou mokrého tryskání, rozdílem jsou pouze pozůstatky malých rýh. Principem výroby je umístění VBD do přípravku, který se nachází pod dvěma velkými válcovými kartáči, které se v průběhu rektifikace otáčejí a působí na destičky. Rektifikace tímto způsobem je nejrychlejší, drsnost řezné hrany je z vypsanych metod nejnižší a lze dosáhnout zaoblení až 100 μm , avšak je nutné dbát na řezné hraně správného tvaru radiusu. [10], [11]



Obr. 4.4 Technologie kartáčování [11]

4.2.4 Leštění

Nejnovější metodou zaoblování řezné hrany ve firmě Domer Pramet je leštění. Proces probíhá na stroji Missimi-Berney B72 a je chlazen olejem. Z výše popsaných způsobů rektifikace je kvalita povrchu VBD nejlepší u leštění, protože na destičkách nezůstávají rýhy ani škrábance a povrch zůstává zcela vyhlazený. Produktivita a možnosti zaoblování jsou u této technologie dány především kartáčem. Principem leštění je naskládání VBD do plastových přípravků, které jsou následně umístěny do leštícího stroje, na kterém se nastaví parametry procesu. Po dokončení operace leštění jsou ze stroje vyjmuty plastové přípravky, ze kterých se destičky přeskládají na mycí síto, na němž putují dále do mycí linky. [10], [11]



Obr. 4.5 Leštící stroj Missimi-Berney B72 [12]

Tab. 4.1 Obecné vlastnosti leštícího stroje [12]

Délka [mm]	930
Šířka [mm]	750
Výška [mm]	1700
Hmotnost [kg]	900
Napájení	3-fázové 400V 50Hz, 4kVa
Prívod vzduchu	Od 6 do 10 bar $1 \text{ Nm}^3 \cdot \text{H}^{-1}$

Nevýhody rektifikace leštěním: [11]

- obtížné nastavování
- náročnost na zručnost obsluhy
- nízká produktivita
- dlouhé seřizovací intervaly
- značná náročnost na přesnost přípravků
- nízká strojní kapacita firmy (pouze jeden stroj)
- vhodné spíše pro kusovou nebo malosériovou výrobu
- nelze použít pro všechny typy VBD
- problémové odstraňování otřepů (jemný způsob zaoblování)
- vhodnější pro VBD s broušenou hranou (VBD bez otřepů)
- vysoká pořizovací cena leštícího kartáče (zhruba 4000 €)



Obr. 4.6 Metoda leštění [11]

4.3 Vybraný typ VBD

Pro řešení experimentu byla vybrána osmibřítá jednostranná obvodově broušená vyměnitelná břitová destička ze slinutého karbidu s typovým označením OEHT 0604AEER-MM-P04, která byla v listopadu minulého roku představena firmou Pramet společně s novým sortimentem pro ekonomické frézování korozivzdorných ocelí.

Geometricky je daná VBD určena pro frézování materiálů spadajících do skupin M a S dle normy ISO 513. Tato destička má pozitivní geometrii s úhlem hřbetu 20° a úhlem čela 7° , postrádá fazetku na ostří a je pouze zaoblená. Obě varianty VBD jsou opatřeny totožným PVD povlakem od firmy SHM, s.r.o.

Podnětem pro testování ostřejší mikrogeometrie již nabízené VBD byla snaha o zvýšení užitných vlastností destičky a udržení konkurenceschopnosti firmy s trhovými konkurenty.



*Obr. 4.7 Testované VBD:
vlevo – standardní provedení; vpravo – leštěné provedení*

4.4 Zkušební vzorky VBD

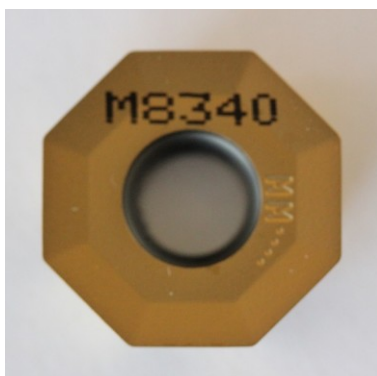
Pro následné experimentální zkoušky obrábění (frézování) byly připraveny dvě variantní řešení VBD z SK:

- 1) Standardní provedení (OEHT 0604AEER-MM-P04)
- 2) S leštěným povrchem (OEHT 0604AEER-MM-P04-P)

Výroba standardní destičky se sestává z následujících po sobě jdoucích operací:

- lisování
- slinování
- broušení dosedací plochy
- broušení obvodu
- zaoblení řezné hrany (velikost zaoblení: $25 \pm 5 \mu\text{m}$)
- povlakování
- kontrola, značení, balení

Konečná podoba již vyhotoveného vzorku ve standardním provedení je znázorněna na obr. 4.8:



Obr. 4.8 Standardní verze VBD

Výroba upraveného (leštěného) vzorku probíhá do značné míry stejným způsobem jako u vzorku standardního, vyjma dodatečného kroku leštění (který probíhá na totožném stroji jako operace zaoblení řezné hrany):

- lisování
- slinování
- broušení dosedací plochy
- broušení obvodu
- zaoblení řezné hrany a leštění (velikost zaoblení: $7 \pm 3 \mu\text{m}$)
- povlakování
- kontrola, značení, balení

Leštění probíhalo na stroji Missimi-Berney B72 za pomoci kartáčků s nylonovými vlákny, které obsahovaly částice diamantu. Tímto krokem bylo dosaženo jednak lesklého povrchu, ale také došlo ke zmenšení zaoblení (zostření) řezné hrany. Leštěný vzorek je znázorněn níže na obr. 4.9:



Obr. 4.9 Leštěná verze VBD

5 Diskuze experimentů

Připravené vzorky VBD typu OEHT 0604AEER-MM-P04; M8340 (standardní provedení) a OEHT 0604AEER-MM-P04-P; M8340 (leštěný vzorek) byly následně otestovány na zkušebně obrábění firmy Dormer Pramet.

5.2 Volba řezných podmínek

Pro určení trvanlivosti obou daných vzorků v efektivním řezném procesu bylo zapotřebí testování provádět za konstantních řezných podmínek, které jsou uvedeny v tab. 4.2:

Tab. 4.2 Řezné podmínky experimentu

Název	Hodnota
Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	140
Otáčky n [$1 \cdot \text{min}^{-1}$]	655
Posuv na zub f_z [mm]	0,15
Posuv f_{\min} [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	98
Axiální hloubka řezu a_p [mm]	2,50
Radiální hloubka řezu a_e [mm]	50,00

Obráběcí úkony byly prováděny na zkušebně frézování firmy Dormer Pramet, konkrétně na centru MCV 1270 Power (obr. 4.10), které vyrábí firma Kovosvit MAS. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tab. 4.3.



Obr. 4.10 Frézovací centrum MCV 1270 Power

Tab. 4.3 Technické parametry frézovacího centra [13]

Název komponentu	Velikost
<i>Pracovní rozsah</i>	
Osy X-Y-Z [mm]	1270-610-720
<i>Stůl</i>	
Upínací plocha stolu [mm]	1500 × 670
Maximální zatížení stolu [kg]	1200
<i>Stroj</i>	
Šířka × délka × výška [mm]	5000 × 3600 × 3330
Výkon motoru S1/S6 – 25% (40%) [kW]	28/43 (ISO 40); 28/43 (ISO 50)
Maximální otáčky vřetena [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$]	8000
Počet míst zásobníku [ks]	30 (ISO 40); 24 (ISO 50)

Jako obráběný objekt sloužil celistvý kvádr s rozměry $300 \times 300 \times 100$ mm, vyrobený z referenční korozivzdorné oceli X2CrNiMo17-12-2 s tvrdostí 155 HB.



Obr. 4.11 Obráběný materiál (X2CrNiMo17-12-2)

5.3 Zkoušky obrábění na trvanlivost

Zkoušky trvanlivosti byly provedeny bez chlazení, a to na již výše zmíněném frézovacím centru MCV 1270 Power značky Kovosvit MAS. Obě varianty dané VBD zastupovaly vždy dva vyhovující vzorky standardního a leštěného provedení.

Tab. 4.4 Parametry zkoušky obrábění na trvanlivost

Stroj	Typ	MCV 1270
	Výkon [kW]	28
	Technický stav [%]	90
Obrobek	Materiál	X2CrNiMo17-12-2
	Skupina	M
	Tvrdost [HB]	155

Proces obrábění probíhal v každém z pokusů na pravotočivé čtyřzubé fréze typu 63A04R-S45OE06Z-C-P01 (obr. 4.12) s průměrem 63 mm, na kterou je možno upnout vyměnitelné břitové destičky s kruhovou nebo osmihrannou geometrií. Tento typ fréz se používá pro čelní rovinné frézování a svým způsobem řešení se řadí mezi nástrčné frézy. Fréza byla při každém testování osazena pouze jednou, v daný moment testovanou VBD, z důvodu co nejpřesnějšího a nejméně zkresleného výstupu experimentu.



Obr. 4.12 Fréza 63A04R-S45OE06Z-C-P01

Dalším kritériem, které zaručovalo věrohodnost zkoušky, byl interval rozptylu získaných výsledků zkoušek maximálně do 15%. V případě překročení této hodnoty by bylo nutné vybrat dodatečně třetí vhodný vzorek, který by byl následně také podroben výše popsanému testovacímu procesu.

V průběhu zkoušek se po vykonání každého záběru měřilo opotřebení hlavního břitu a opotřebení jeho špičky, po každých dvou záběrech se poté zaznamenávalo opotřebení destiček pomocí fotografií pod mikroskopem. Z důvodu minimalizace redundance dat a urychlení pracovního procesu byl však focen vždy právě pouze jeden ze dvou vzorků daného typu.

Tab. 4.5 Průběh opotřebení testovaných vzorků – standardní verze

Typ destičky	OEHT 0604AEER-MM-P04; M8340			
Vzorek	A3		A0	
Kritérium	Opotřebení hlavního břitu VB_B [mm]	Opotřebení špičky hl. břitu VB_C [mm]	Opotřebení hlavního břitu VB_B [mm]	Opotřebení špičky hl. břitu VB_C [mm]
6,1 min	0,039	0,039	0,040	0,040
12,2 min	0,040	0,040	0,040	0,040
18,3 min	0,040	0,040	0,040	0,040
24,4 min	0,040	0,040	0,040	0,040
30,5 min	0,040	0,040	0,040	0,040
36,6 min	0,041	0,040	0,110	0,040
42,7 min	0,065	0,062	0,111	0,043
48,8 min	0,140	0,063	0,144	0,063
54,9 min	0,175	0,064	0,165	0,064
61,0 min	0,195	0,066	---	---









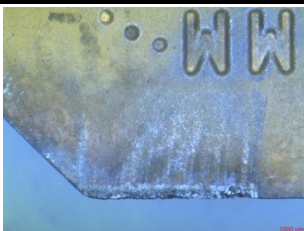



Tab. 4.6 Průběh opotřebení testovaných vzorků – leštěná verze

Typ destičky	OEHT 0604AEER-MM-P04-P; M8340			
Vzorek	D1		D6	
Kritérium	Opotřebení hlavního břitu VB_B [mm]	Opotřebení špičky hl. břitu VB_C [mm]	Opotřebení hlavního břitu VB_B [mm]	Opotřebení špičky hl. břitu VB_C [mm]
6,1 min	0,044	0,054	0,030	0,030
12,2 min	0,044	0,054	0,030	0,030
18,3 min	0,044	0,054	0,031	0,031
24,4 min	0,045	0,054	0,042	0,040
30,5 min	0,045	0,054	0,043	0,040
36,6 min	0,046	0,055	0,046	0,044
42,7 min	0,053	0,055	0,047	0,044
48,8 min	0,056	0,056	0,048	0,045
54,9 min	0,056	0,056	0,049	0,046
61,0 min	0,067	0,057	0,050	0,050
67,1 min	0,078	0,058	0,052	0,050
73,2 min	0,079	0,060	0,095	0,055


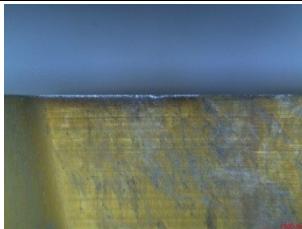
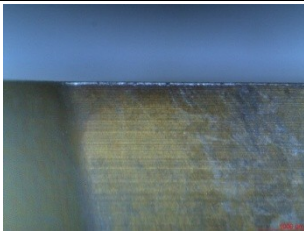
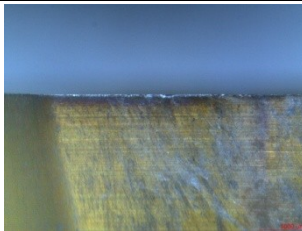
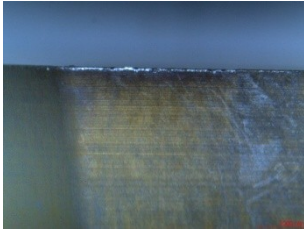
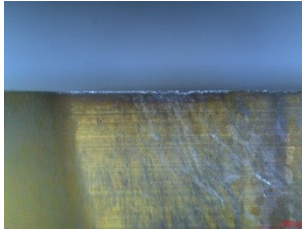
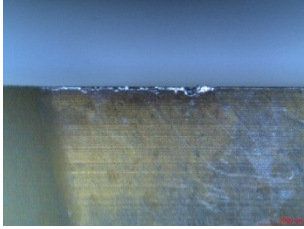
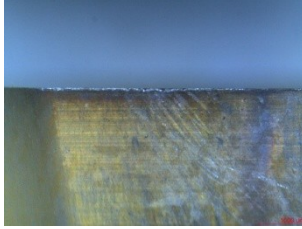


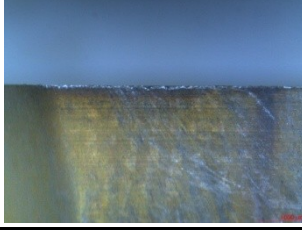
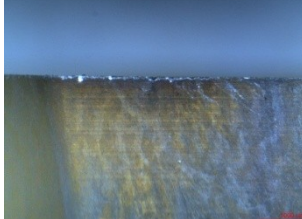
Tab. 4.7 Výsledky trvanlivosti porovnávaných VBD

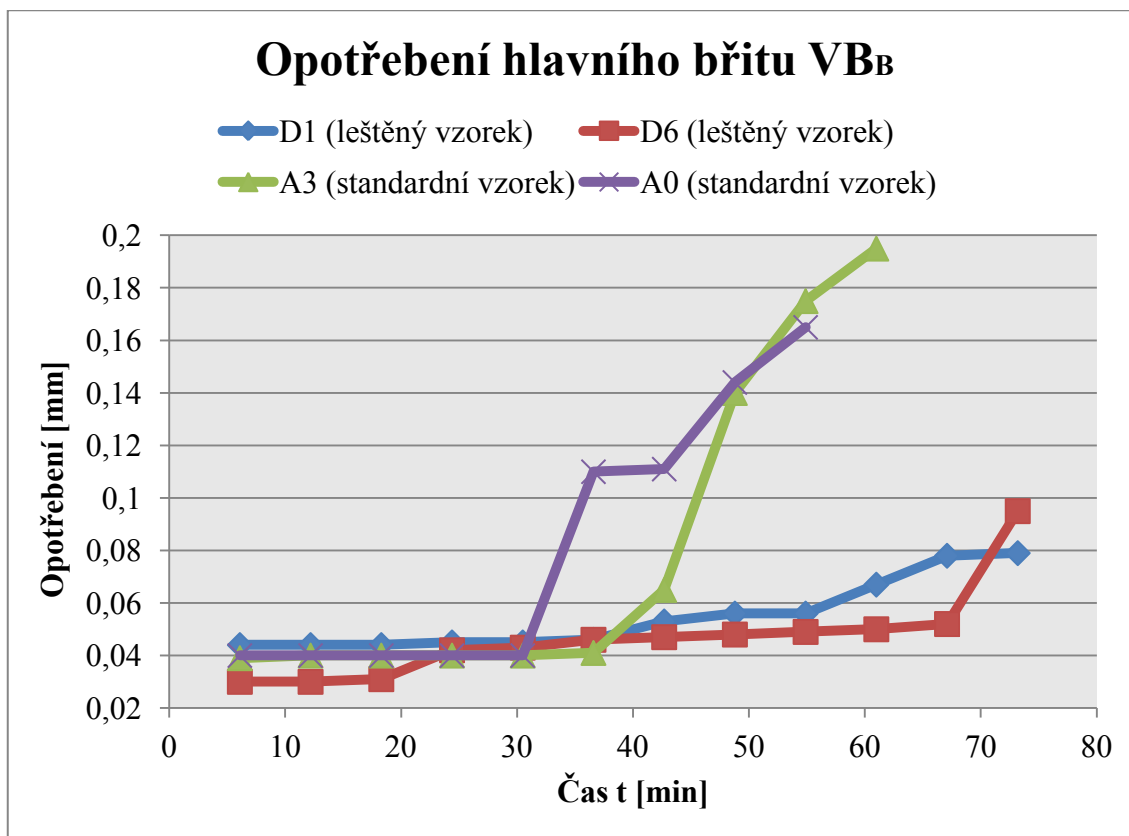
Typ destičky	Vzorek	Trvanlivost <i>T</i> [min]	Průměr [min]	Řezivost <i>K</i> [%]	Rozptyl [%]
OEHT 0604AEER-MM-P04	A3	61,0	58,0	100	5,3
	A0	54,9			
OEHT 0604AEER-MM-P04-P	D1	73,2	73,2	150	0
	D6	73,2			

Tab. 4.8 Průběh opotřebení vzorků – čela VBD

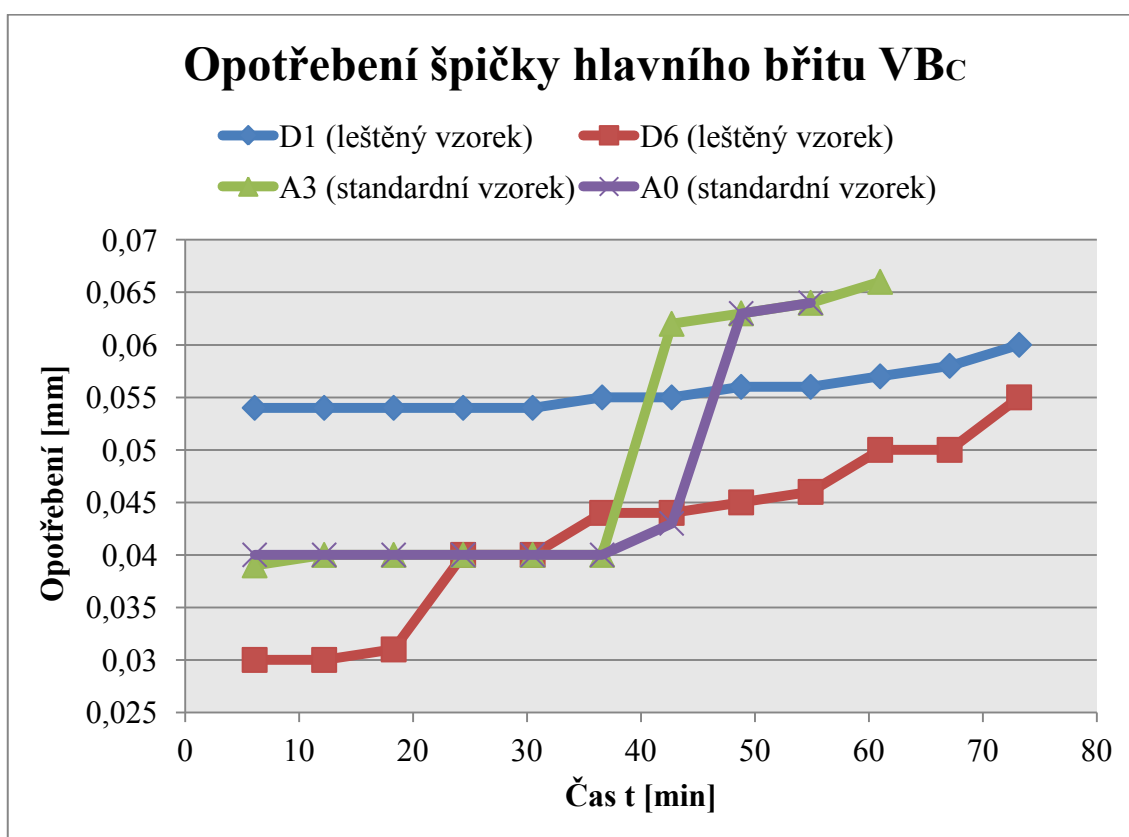
Typ VBD	OEHT 0604AEER-MM-P04; M8340		OEHT 0604AEER-MM-P04-P; M8340
Vzorek	A3		D1
Opotřebení čela			
12,2 min			
24,4 min			
36,6 min			
48,8 min			
54,9 min			---
61 min			
73,2 min	---		

Tab. 4.9 Průběh opotřebení vzorků – hřbety VBD

Typ VBD	OEHT 0604AEER-MM-P04; M8340		OEHT 0604AEER-MM-P04-P; M8340	
Vzorek	A3		D1	
Opotřebení hřbetu				
12,2 min				
24,4 min				
36,6 min				
48,8 min				
54,9 min		---		
61 min				
73,2 min	---			



Graf 4.1 Průběhy opotřebení hlavních břitů VB_B



Graf 4.2 Průběhy opotřebení špiček hlavních břitů VB_C

Výsledky řezných zkoušek na trvanlivost můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) Ze souhrnu provedených řezných zkoušek, dle řezných parametrů (tab. 4.4), byly podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.2 získány průběhy opotřebení testovaných destiček (tab. 4.5 a 4.6)
- b) Grafické znázornění těchto průběhů opotřebení hlavních břitů VB_B a špiček hlavních břitů VB_C je znázorněno v grafech 4.1 a 4.2.
- c) Díky průběhům opotřebení testovaných VBD bylo možno vyhodnotit výsledky trvanlivosti porovnávaných destiček do tabulky 4.7.
- d) V tabulce 4.8 jsou zachyceny snímky s rostoucím opotřebením čelních ploch testovaných destiček.
- e) V tabulce 4.9 jsou zachyceny snímky s rostoucím opotřebením hřbetních ploch testovaných destiček.
- f) Nejlepších výsledků trvanlivosti při daných řezných podmínkách dosáhly jednoznačně leštěné vzorky.
- g) Nejstrměji dochází k opotřebení u standardních destiček zhruba mezi 35. a 50. minutou pracovního nasazení.
- h) Standardní vzorky vykazují již po 49. minutě značné opotřebení na čelech i hřbetech, kdy dochází k postupným hřbenovým trhlinám a porušováním hlavního břitu.
- i) Leštěné vzorky vykazují ve srovnání se standardními vzorky dobrou kondici i po 61 minutách frézování.
- j) Zkoušky leštěných vzorků byly vždy zastaveny v 73. minutě i přes stále funkční řezné hrany.
- k) U testování leštěných vzorků se objevovala opotřebení v podobě hřbenových trhlin a vyštípnutí na hlavním břitu destičky.

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

V listopadu roku 2015 představila firma Dormer Pramet, s.r.o. nový sortiment pro ekonomické frézování korozivzdorných ocelí, který zahrnoval také osmihranné vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu s označením OEHT 0604AEER-MM-P04. V rámci zlepšení trvanlivosti byly vyrobeny leštěné vzorky pod označením 0604AEER-MM-P04-P, které měly upravený povrch a menší poloměr zaoblení řezné hrany. Tyto dva druhy destiček byly následně podrobeny zkouškám na trvanlivost, jimž se věnovala předchozí kapitola.

S průměrnou trvanlivostí cca 58 minut na jeden břit je tedy životnost již nabízené standardní VBD se všemi osmi břity zhruba 464 minut. Při katalogové ceně 355 Kč vychází cena jedné pracovní hodiny VBD na zhruba 46 Kč.

Průměrná trvanlivost jednoho břitu leštěných vzorků činí cca 73 minut, minimální životnost takto upravené osmihranné destičky je tedy při daných řezných podmínkách alespoň 584 minut. Jelikož se jedná teprve o experimentální vzorky, jejichž cena by vlivem operace leštění vzrostla asi o 10%, orientační katalogová cena by se vyšplhala na zhruba 390 Kč/kus. Avšak díky o 25% vyšší životnosti by se cena jedné pracovní hodiny VBD mohla pohybovat na hranici 40 Kč.

Z technicko-ekonomického hlediska je tedy perspektivnější leštěná verze VBD, která je ve srovnání se standardní verzí výhodnější poměrem cena/životnost, nižším strojním časem z hlediska upínání a ustavování destičky, dále nižšími nároky na skladovací prostory a logistiku.

7 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodnou mikrogeometrii vybrané vyměnitelné břitové destičky vyrobené ze slinutého karbidu pro čelní rovinné frézování austenitických ocelí s ohledem na její trvanlivost.

Pro řešení problematiky byla vybrána destička s typovým označením 0604AEER-MM-P04-P; určená pro efektivní a ekonomické frézování korozivzdorných ocelí skupin M a S dle normy ISO 513. Úpravy mikrogeometrie spočívaly ve vyleštění povrchu destičky a zmenšení rádiusu zaoblení jejích řezných hran.

Z dosažených výsledků experimentální části bakalářské práce vyplývají následující závěry:

- a) Při konstantních řezných podmínkách a řezných parametrech si ve zkouškách obrábění na trvanlivost vedla znatelně lépe leštěná prototypová destička (0604AEER-MM-P04-P) s průměrně o 15,2 minuty delší trvanlivostí jedné řezné hrany.
- b) Standardně vyrobené destičky (0604AEER-MM-P04), s velikostí zaoblení řezné hrany $25 \pm 5 \mu\text{m}$ a průměrnou trvanlivostí břitu 58 minut, vykazovaly již po 36. (vzorek A0) a 49. (vzorek A3) minutě frézování značné opotřebení na čele i hřbetu, které v 54. (vzorek A0) a 61. (vzorek A3) minutě testování vyústilo v zastavení zkoušky kvůli hřebenovým trhlinám a porušení hlavního břitu ve snaze předejít případnému poškození frézovacího centra.
- c) Leštěné vzorky (0604AEER-MM-P04-P), s velikostí zaoblení řezné hrany $7 \pm 3 \mu\text{m}$ a průměrnou trvanlivostí břitu 73,2 minut, byly ve srovnání se standardními provedeními dané VBD v relativně dobré kondici i po 61 minutách frézování. Zkoušky byly po 73. minutě běhu zastaveny z důvodu vyštípnutí na hlavním břitu a zvětšujících se hřebenových trhlin i přes stále funkční řeznou hranu.
- d) Z technicko-ekonomického hlediska je výhodnější leštěná verze poměrem cena/životnost, nižším strojním časem (upínáním a ustavováním VBD), nižšími nároky na skladovací prostory a logistiku.

Po shrnutí veškerých výsledků prezentovaných v bakalářské práci lze konstatovat aktuálnost a perspektivnost zkoumání mikrogeometrie řezných nástrojů, protože nám díky uplatnění vědomostí v dané problematice a jejich následnému převedení do praxe umožňuje dále inovovat užité vlastnosti nástrojů, zefektivňovat proces obrábění či zkvalitňovat jakosti obráběných ploch.

Závěrem lze doporučit úvahu uvedení leštěného vzorku dané VBD na trh a dále vedle zkoumání mikrogeometrií dalších – například kruhových – vyměnitelných destiček i nadále pokračovat a rozšiřovat následující testování vybrané VBD kupříkladu s upraveným technologickým postupem výroby (zařazením operace leštění po povlakování, apod.), upravenými řeznými podmínkami (jiné nastavení řezné rychlosti v_c či axiální hloubky řezu a_p , apod.) nebo za přítomnosti různých procesních kapalin. Z technicko-ekonomického hlediska by se jistě jednalo o zajímavé téma pro zpracování diplomové práce.

Seznam použité literatury

- [1] *Historie a současnost Pramet Tools*. [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné na WWW: <<http://www.iprosperita.cz/firmy/2145-historie-a-soucasnost-pramet-tools>>
- [2] DORMER PRAMET. *Profil společnosti*. [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné na WWW: <<http://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/who-we-are>>
- [3] *Pramet Tools, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné na WWW: <<http://pramet.trade.cz/>>
- [4] STRNAD, T. *Obrobitelnost austenitické ocele*. [online]. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra Technologie Obrábění, 2011. [cit. 2016-05-10]. Dostupné na WWW: <https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007>
- [5] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály*. [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html>>
- [6] ČÍHAL, V. *Mezikrystalová koroze ocelí a slitin*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1978, 408 s. DT 669.14:620.193.
- [7] PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [8] MINÁŘ, M. *Frézování korozivzdorných ocelí*: Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská, Fakulta strojní, 2012. 46 s., 1. příloha. Vedoucí práce Ing. Lenka Petřkovská, PhD.
- [9] INOX. *Nerezová ocel I.4404*. [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné na WWW: <<http://www.inoxspol.cz/index.php?act=a&cat=4&art=11>>
- [10] NEIDERLOVÁ, M. *Vliv nové technologie zaoblení řezné hrany VBD na její trvanlivost*: Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská, Fakulta strojní, 2014. 74 s., 1. příloha. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.
- [11] DORMER PRAMET, s.r.o. Šumperk: Dormer Pramet, s.r.o. Uničovská 2. *Porovnání technologií pro zaoblení řezné hrany*. 2012. 20 s.
- [12] MISSIMI-BERNEY: *Missimi-Berney B72 Machine for the precision grind of edges on intergangeables inserts by brushing*. [online]. [cit. 2016-4-26]. Dostupné na WWW: <http://www.missimi-berney.ch/documents/B72_en.pdf>
- [13] KOVOSVIT MAS. *MCV 1270* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>>
- [14] MRKVICA, I., MORAVEC, V.: *Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů*. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html/>>
- [15] KŘÍŽ, A.: *Nejdůležitější oblast nástroje – ostrí*. [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné na WWW: <<http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/nejdulezitejsi-oblast-nastroje-ostri.html>>

Seznam obrázků

Obr. 3.1	Austenitická struktura (ocel X5CrNi 18-10)	13
Obr. 3.2	Poměr pevnosti v tahu a ve smyku při obrábění různých materiálů	16
Obr. 3.3	Kolmé trhliny vzniklé vlivem tepelných šoků	17
Obr. 3.4	Tepelná distribuce pro: a) uhlíkovou ocel b) austenitickou ocel	18
Obr. 3.5	Zdrsnělý povrch a špatná jakost povrchu obrobku	19
Obr. 4.1	Schéma břitů nástroje	22
Obr. 4.2	Přípravek pro uložení VBD při suchém tryskání	23
Obr. 4.3	Metoda mokrého tryskání	24
Obr. 4.4	Technologie kartáčování	25
Obr. 4.5	Leštící stroj Missimi-Berney B72	25
Obr. 4.6	Metoda leštění	26
Obr. 4.7	Testované VBD: vlevo – standardní provedení; vpravo – leštěné provedení	27
Obr. 4.8	Standardní verze VBD	28
Obr. 4.9	Leštěná verze VBD	28
Obr. 4.10	Frézovací centrum MCV 1270 Power	30
Obr. 4.11	Obráběný materiál (X2CrNiMo17-12-2)	31
Obr. 4.12	Fréza 63A04R-S45OE06Z-C-P01	32

Seznam tabulek

Tab. 4.1	Obecné vlastnosti leštícího stroje	25
Tab. 4.2	Řezné podmínky experimentu	29
Tab. 4.3	Technické parametry frézovacího centra	30
Tab. 4.4	Parametry zkoušky obrábění na trvanlivost	31
Tab. 4.5	Průběh opotřebení testovaných vzorků – standardní verze	33
Tab. 4.6	Průběh opotřebení testovaných vzorků – leštěná verze	33
Tab. 4.7	Výsledky trvanlivosti porovnávaných VBD	34
Tab. 4.8	Průběh opotřebení vzorků – čela VBD	35
Tab. 4.9	Průběh opotřebení vzorků – hřbety VBD	36

Seznam grafů

Graf 4.1	Průběhy opotřebení hlavních břitů VB _B	37
Graf 4.2	Průběhy opotřebení špiček hlavních břitů VB _C	37

Poděkování

Chtěl bych poděkovat společnosti Dormer Pramet, s.r.o., především potom panu Ing. Martinu Binderovi, Ph.D za jeho čas a vstřícný přístup při společných konzultacích. Velké díky patří také vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi CSc. za jeho vedení, odborné rady a připomínky vztahující se k bakalářské práci.